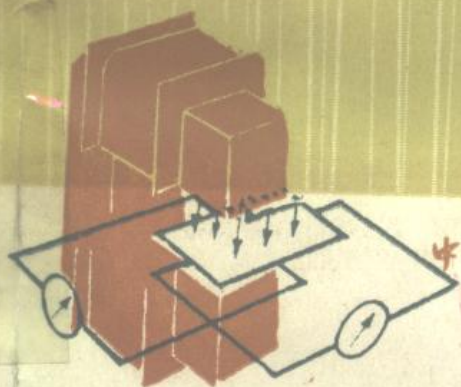


安装工人技术学习丛书

# 电 工 试 调

(第二版)



中国建筑工业出版社

安装工人技术学习丛书

# 电工试调

(第二版)

陕西省设备安装工程公司 周敦锋编著

中国建筑工业出版社

2536/60

本书是安装工人技术学习丛书之一，以电工试调实际经验为主，介绍6~10千伏变配电系统试调，其中包括变配电设备、常用继电器试调；电缆故障的测定；控制电器检验；电机试调；电动机控制电路及典型控制电路试调举例；半导体晶体管测试；基本的逻辑电路一门电路的应用和测试方法等。前两章介绍了试调电工基本知识；仪器、仪表使用和校验。附录中列出了电气交接试验常用的主要仪器设备选用参考表。

本书第二版增写了有关的新调试项目和相应的技术内容，如电梯调试、稳压管装置电路系统测试、可控硅调速系统试调等。

本书可作为电气调整工自学读物，也可作技工培训读物。

本书由陕西省工业设备安装公司组织编写，第一版由周敦锋主编、王锡臣、潘国相~~协~~编。第二版由周敦锋主编。

安装工人技术学习丛书

电 工

(第 1 册)

陕西省设备安装工程公司 周敦锋编

中国建筑工业出版社出版(北京西便门大街25号)

新华书店北京发行所发行 全址北京西便门大街25号

北京市平谷县大华山印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/32 印张：25<sup>5</sup>/<sub>8</sub> 插页：3 字数：574千字

1987年4月第二版 1987年4月第三次印刷

印数：83,701—97,880册 定价：3.35元

统一书号：15040·5114

# 目 录

第一章 试调电工基本知识	1
第一节 电的基本概念	1
第二节 直流电路	17
第三节 交流电路	23
第二章 仪表、仪器使用和校验	52
第一节 电流表和电压表	52
第二节 万用表	57
第三节 转数表	62
第四节 高阻计	64
第五节 手摇式接地电阻测定仪	68
第六节 仪用互感器	71
第七节 直流电桥	73
第八节 交流电桥	79
第九节 ST-22型双踪双扫描示波器	88
第十节 OMY型2500伏介电损失角试验器	105
第十一节 晶体管测试仪	109
第十二节 变压比电桥	114
第十三节 高压试验变压器	118
第十四节 其它附属试验仪器和设备	123
第十五节 仪表的误差和校验规定	128
第十六节 交、直流电流表校验	133
第十七节 支、直流电压表校验	138
第十八节 瓦特表校验	141

第十九节	功率因数表校验 .....	152
第二十节	电度表校验 .....	156
第三章	变配电设备试调 .....	168
第一节	电力变压器试验 .....	168
第二节	互感器试验 .....	235
第三节	阀型避雷器试验 .....	245
第四节	高压隔离开关和负荷开关试调 .....	251
第五节	高压电力电容器试验 .....	262
第六节	断路器及其操作机构试调 .....	267
第七节	电力电缆试验 .....	286
第八节	铅蓄电池试验 .....	295
第九节	接地装置测试 .....	307
第十节	绝缘子试验 .....	316
第十一节	变压器并列运行条件 .....	321
第十二节	常用电气绝缘工具试验 .....	326
第四章	常用继电器试调 .....	331
第一节	继电器检验和调整 .....	332
第二节	电流、电压继电器试验 .....	334
第三节	感应式过电流继电器试验 .....	338
第四节	中间继电器试验 .....	344
第五节	信号继电器试验 .....	350
第六节	时间继电器试验 .....	352
第七节	重合闸继电器试验 .....	355
第八节	差动继电器试验 .....	359
第九节	冲击继电器试验 .....	375
第五章	变配电系统试调 .....	383
第一节	整组试调前的检验 .....	383
第二节	电流继电器保护装置系统试调 .....	387

第三节	差动保护装置系统试调 .....	394
第四节	欠电压保护装置系统试调 .....	400
第五节	零序电流互感器和接地监视回路系统试调 .....	402
第六节	瓦斯继电器系统试调 .....	405
第七节	重合闸装置系统试调 .....	408
第八节	变配电系统试运行 .....	411
第六章	电缆故障的测定 .....	417
第一节	发生故障的原因和类型 .....	417
第二节	测声法 .....	419
第三节	回线法 .....	422
第四节	电容测定法 .....	426
第五节	压降法 .....	429
第六节	直流电阻测定法 .....	432
第七节	用示波器测定法 .....	436
第八节	电缆故障点形成原因和击穿方法 .....	447
第七章	控制电器检验 .....	451
第一节	自动开关(自动空气断路器)检验 .....	451
第二节	双金属片式热继电器检验 .....	455
第三节	接触器检验和调整 .....	458
第四节	起动器检验 .....	461
第五节	控制器检验 .....	466
第六节	电阻器与变阻器检查 .....	469
第七节	电磁铁检验和调整 .....	472
第八节	主令电器检查 .....	475
第八章	电机试调 .....	479
第一节	交流电动机 .....	479
第二节	伺服电动机 .....	502
第三节	直流电机 .....	506
第四节	测速发电机 .....	523

第五节	自整角机 .....	528
第六节	电机放大机 .....	542
第七节	磁放大器 .....	556
第九章	电动机控制电路 .....	558
第一节	直接起动 .....	559
第二节	降压起动 .....	568
第三节	电动机制动 .....	583
第四节	电动机调速 .....	596
第五节	电动机控制电路试调实例——龙门刨床试调 .....	603
第六节	电动机控制电路试调实例——电梯试调 .....	661
第十章	半导体晶体管测试	
第一节	晶体二极管、三极管测试 .....	702
第二节	单结晶体管测试 .....	709
第三节	可控硅整流元件测试 .....	713
第四节	稳压管测试 .....	722
第五节	稳压管装置电路系统测试 .....	725
第六节	可控硅调速系统试调 .....	730
第十一章	基本的逻辑电路——	
	门电路的应用和测试方法 .....	740
第一节	逻辑电路的应用 .....	740
第二节	门电路参数测试 .....	769
附录	交接试验常用主要仪器设备选用参考表 .....	797

# 第一章 试调电工基本知识

随着四化建设的迅速发展，现代化设备的广泛采用，电子元件以及自动化电器日新月异，因此，对工业与民用电气试调任务也相应地提出了新的要求。

电气试调，不但可以发现并纠正设计、设备制造及安装方面的某些缺陷，还可在试调实践中提高技术水平。笔者从事试调工作多年，深刻体会到，要想顺利地完成电气试调任务，应当懂得电工基本原理，明了常用电工仪器性能、电控元件特性，以及一般输配电系统和传动控制系统的基本原理。也就是说，电气试调工作理论与实践更要密切结合。

## 第一节 电的基本概念

### 1. 电荷的产生

物质是由分子构成。分子是由原子构成，而原子是由带负电荷的电子和带正电荷的原子核构成，原子核又是由中子和质子构成（氢原子除外）。中子不带电，质子带有正电荷。

电子围绕着原子核按一定的轨道运动。在正常情况下，正电荷量与负电荷量相等，所以物体不呈现出带电现象。当由于物理和化学作用，物体内部失掉电子或得到电子，物体就呈现带电现象，失掉电子的物体部分带正电，得到多余电



子的物体部分带负电。

## 2. 电场和电场强度

带电体周围具有电力作用的空间叫电场。有电荷存在的地方，电荷周围就有电场。

电场的方向可用电力线来表示，每根电力线都从正电荷出发，到负电荷终止。任何两根电力线不可能相交。电力线的疏密程度可以用来表示电场的强弱程度。图1-1 为两平行极板间的电场，除边缘部分外，电场内各点上电力线的密度和方向都相同，这种电场为均匀电场。

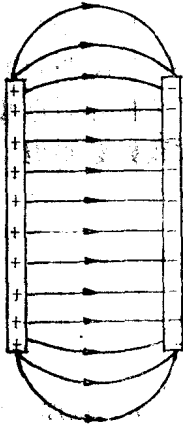


图 1-1 两平行极板间的电场

如在带电体附近放进另一带电体，那么另一带电体就会受到电场的作用力。如果两个带电体的电荷是同性的，就有互相排斥的作用；如果带电体电荷是异性的，就相互吸引，即所谓同性相斥、异性相吸的原理，如图1-2所示。

### 1) 库伦定律

在均匀的介质中，将两个点电荷  $Q$ 、 $q$  放同一电场里，则作用在这两个点电荷上的力  $F$  与这两个点电荷所带电量的乘积成正比；与这两个点电荷的距离  $r$  的平方成反比，用公式表示：

$$F = K \frac{Qq}{r^2} \quad (1-1)$$

式中  $K$ ——比例常数，与点电荷  $Q$ 、 $q$  周围的介质及距离

$r$  所取的单位有关。

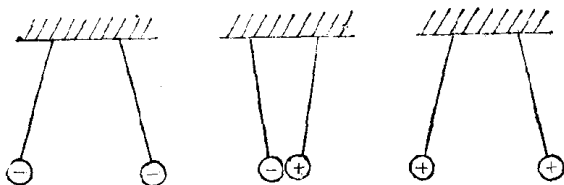


图 1-2 电荷相吸相斥图

(a)、(c) 同性电荷相斥，(b) 异性电荷相吸

由此可知，电场内一点的电场强度就是用单位正电荷在该点所受力的的大小来表示的一个物理量，因此电场强度  $\varepsilon$  表达如下：

$$\varepsilon = \frac{F}{q} = K \frac{Q}{r^2} \quad (1-2)$$

电场强度是一个矢量，这矢量的方向与电场力矢量方向相重合。

它们的实用单位制是：电量单位：库伦（安培·秒）；

电场强度单位： $\varepsilon = \frac{F}{q} = \frac{\text{牛顿}}{\text{库伦}} = \frac{\text{焦耳}}{\text{库伦} \cdot \text{米}}$ 。

电场的方向是引入单位正电荷在电场内所受到的力的方向。

### 3. 电位与电压

有带电体存在，就有电场存在，而电场具有能量。若将电场中某点的电位，在数值上等于单位正电荷沿任意路径从该点移至无限远处的过程中电场力所做的功，其单位为伏特，用  $U$  来表示。

在电场中电位等于零的点叫做零电位，凡电压高于零电位的，电位为正，凡电位低于零电位的，其电位为负。通常以

大地作为零电位。

电场中任意两点间的电压，等于这两点电位的差别，因此电压也称电位差。

电压的单位可用千伏(kV)、伏(V)，毫伏(mV)、微伏( $\mu\text{V}$ )，即：

$$1 \text{ 千伏} = 10^3 \text{ 伏；}$$

$$1 \text{ 伏} = 10^3 \text{ 毫伏；}$$

$$1 \text{ 毫伏} = 10^3 \text{ 微伏}$$

对于一个确定的电场，电场中各点的电位，随着零电位的改变而不同，但是无论零电位如何改变，任意两点的电位差是不变的。电压的正方向是从高电位点指向低电位点。

#### 4. 电容和电容器

用电介质把两个任何形状的金属体分开，就能储藏电能，构成电容器，这两个金属体叫做电容器的极，电荷量的大小与外加电压成正比，我们叫这比例常数为电容，用C表示，

$$C = \frac{Q}{U} \quad (1-3)$$

式中C的单位是法拉(简称法)，Q的单位是库伦(简称库)，U的单位是伏特(简称伏)。

实际使用的单位如下

$$1 \text{ 法(法)} = 10^6 \text{ 微法} (\mu\text{F})，$$

$$1 \mu\text{F 微法} = 10^6 \text{ 微微法} (\mu\mu\text{F 或 P})。$$

电容器的符号如图1-3所示。

用两块相互平行，中间有电介质隔开的金属构成的电容器叫做平板电容器，金属板是电容器的极板。如极板间的距离远小于极板尺寸，那么可以认为极板间的电场是均匀电场

(除极板边缘部分)，如图1-4表示。平板电容器的电容计算公式如下：

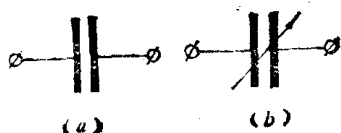


图 1-3 电容器符号

(a)固定电容器；(b)可调电容器

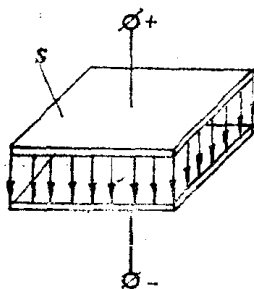


图 1-4 平板电容器

$$C = \frac{\epsilon S}{4\pi d} \approx 0.0884 \frac{\epsilon S}{d} \quad (1-4)$$

式中  $\epsilon$  ——电介质的介电系数；  
 $d$  ——极板间的距离（厘米）；  
 $S$  ——单块极板的面积（平方厘米）；  
 $C$  ——电容量（微微法）。

根据以上公式可知，平板电容器的电容与极板面积成正比，与极板间距离成反比，并且与极板间的介质有关，与外加电压和电荷量、极板的材料和质量无关。

### 1) 电容器并联公式

电容器并联时，总电容等于各电容器的和。

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (1-5)$$

### 2) 电容器串联公式

电容器串联时，总电容的倒数等于各电容器电容的倒数之和。

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (1-6)$$

## 5. 电阻和电阻率

导体内通过电流时，导体对电流有一定的阻力，这种阻力叫做电阻，用符号  $R$  或  $r$  表示如图1-5所示。如果电阻的阻值是可变的叫做可变电阻器，或叫电位器。

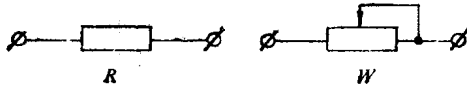


图 1-5 电阻与电位器的符号

电阻的单位为欧姆（简称欧）用字母  $\Omega$  表示。

当导体两端电压为1伏特而导体中电流为1安培时，则导体的电阻是1欧姆。

$$1 \text{ 欧姆} = \frac{1 \text{ 伏特}}{1 \text{ 安培}}$$

电阻经常采用两种较大的单位：千欧和兆欧（ $k\Omega$  和  $M\Omega$ ）。

它们与欧姆的关系为：

$$1 k\Omega = 10^3 \Omega$$

$$1 M\Omega = 10^6 \Omega$$

同一种物质对电流的阻力，主要决定于导体的长度和横截面积。如截面积相同时，则导体越长，电阻越大；如长度相同时，则截面越大，电阻越小。所以电阻与导线长度  $L$  成正比；而与导线面积  $S$  成反比。即：

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-7)$$

式中  $\rho$  为电阻率。

通常给出电阻率的条件为：在  $+20^\circ\text{C}$  时，长度为1米，

横截面积为 1 平方毫米的导线的电阻  $\rho$  值与材料性质有关，是一个常数。它的单位是  $\frac{\text{欧姆} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}}$

1) 电阻的串并联，恰与电容串并联相反，即电阻串联为每个电阻相加之和。电阻并联时，总电阻值的倒数等于各电阻器的电阻的倒数之和。

### 2) 电阻电路的欧姆定律

欧姆定律是用来说明电路中电压、电流和电阻这三个基本物理量之间关系的定律。在一段电路中，流过电阻  $R$  的电流  $I$  与电阻两端的电压  $U$  成正比，而与这段电路的电阻成反比，用公式表示为：

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-8)$$

欧姆定律相互之间的关系，写成另外两种公式，即

$$U = I R \quad \text{和} \quad R = \frac{U}{I} \quad (1-9)$$

### 3) 全电路欧姆定律

它说明在一个闭合电路中，电压（电势）、电流、电阻之间基本关系定律。就是在一个闭合电路中，电流与电源的电动势成正比，与电路中电源的内电阻和外电阻之和成反比，用公式表示为：

$$I = \frac{E}{R + R_0} \quad (1-10)$$

或  $E = U + U_0$  或  $E = IR + IR_0$  (1-11)

式中  $E$  —— 电路中电源电动势（伏）；

$I$  —— 电流（安）；

$R$  —— 外电阻（即负载电阻，欧）；

$R_0$  —— 内电阻（即电源内阻，欧）；

$U$ ——电源端电压（伏）；

$U_0$ ——电源内阻上的电压降（伏）。

#### 4) 电阻温度系数

导体的电阻是随温度而变化，而不同物质的电阻对温度有不同的变化。金属导体的电阻基本是随温度升高而增加，而电解液和碳素物质的电阻，基本是随温度升高而降低。另外，如康铜、锰铜等的电阻几乎不随温度变化而变化。

由上可知，温度的变化，对不同导体的电阻影响不同，因此规定为导体电阻 1 欧姆，当温度变化 1 度时，它的电阻的变化数值作为一个换算系数，这个变化数值也叫做电阻的温度系数，用字母“ $\alpha$ ”表示，其单位为 1 度。

故欲求导体电阻  $R$  在温度变化后的电阻  $R_1$ ，其公式可写成为

$$R_1 = R + R\alpha(T_2 - T_1) \quad (1-12)$$

欲求  $T_2$  的温度，则可写成：

$$T_2 = \frac{R_1 - R}{R\alpha} + T_1 \quad (1-13)$$

式中  $T_2$ ——变化后的温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）；

$T_1$ ——原来导体的温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）。

#### 6. 电能和电功率

在电源中所做的功称为电能，电能用符号  $A$  表示，其单位是焦耳（ $\text{J}$ ）。平常说的度，以用电量的形式表示，以千瓦·小时（ $\text{kWh}$ ）为单位，1 千瓦小时为一度。

单位时间内电源力所做的功叫电功率。电功率说明电场力移动电荷做功的速度，用符号  $P$  表示，常用的单位为千瓦（ $\text{kW}$ ），瓦（ $\text{W}$ ）等，即：

$$1 \text{ 千瓦} = 10^3 \text{ 瓦}$$

$$1 \text{ 瓦} = 10^3 \text{ 毫瓦}。$$

通常电功率的计算公式为：

$$P = \frac{A}{t} \quad (1-14)$$

式中  $P$  —— 电功率（瓦或千瓦）；

$t$  —— 时间（秒或小时）；

$A$  —— 电能（焦耳或度）。

如果电阻负载两端电压  $U$  的单位为伏特，电流  $I$  的单位为安培，时间  $t$  的单位为小时，则电能的公式为：

$$A = UI t \times 10^{-3} \quad (1-15)$$

式中电能的单位为千瓦小时（度）。

根据欧姆定律，上式可写成：

$$A = (IR) I t \times 10^3 = I^2 R t \times 10^3 \quad (1-16)$$

电功率表达方式为：

$$P = \frac{A}{t} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-17)$$

在生产实践中，有的电动机用电工马来表明电功率，有的电能换算为卡，换算公式如下：

$$1 \text{ 电工马力} = 74.6 \frac{\text{千克} \cdot \text{米}}{\text{秒}} = 746 \text{ 瓦} = 0.746 \text{ 千瓦}$$

$$1 \text{ 千瓦} = \frac{1}{0.746} \text{ 电工马力} = 1.34 \text{ 电工马力}$$

$$1 \frac{\text{千克} \cdot \text{米}}{\text{秒}} = \frac{746}{75} \text{ 瓦} = 9.95 \text{ 瓦}$$

$$1 \text{ 焦耳} = \frac{1}{9.95} \text{ 千克} \cdot \text{米} = 0.1 \text{ 千克} \cdot \text{米}$$

$$1 \text{ 卡} = 0.427 \text{ 千克} \cdot \text{米}$$



$$1 \text{ 焦耳} = \frac{0.102}{0.427} \text{ 卡} = 0.247 \text{ 卡}$$

### 7. 电势和电压降

电子从导体的一端移到另一端，外力对单位电荷所做的功，叫做电势（或叫电动势）。用字母  $E$  来表示。其公式为：

$$E = \frac{W}{Q} \quad (1-18)$$

式中  $W$ ——外力移动电荷所做的功；

$Q$ ——被移动的电荷电量。

电势的单位是伏，用字母  $V$  来表示。

电势的方向与外力对电子作用力的方向相反，所以与电流方向相同。

电源是由蓄电池、原子池、发电机等供给。若将电源接于一电路上，则该电源的两端的电位差就叫端电压。端电压就是电源在外电路上移动单位电荷时所做的功。用符号  $U$  来表示。

电势  $E$  与电压  $U$  的关系，如图1-6可以说明：

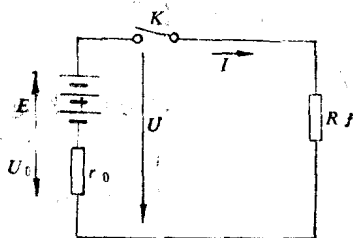


图 1-6 电势与电压关系电路

在电路闭合时，电路中就有电流产生。这时电源的电势